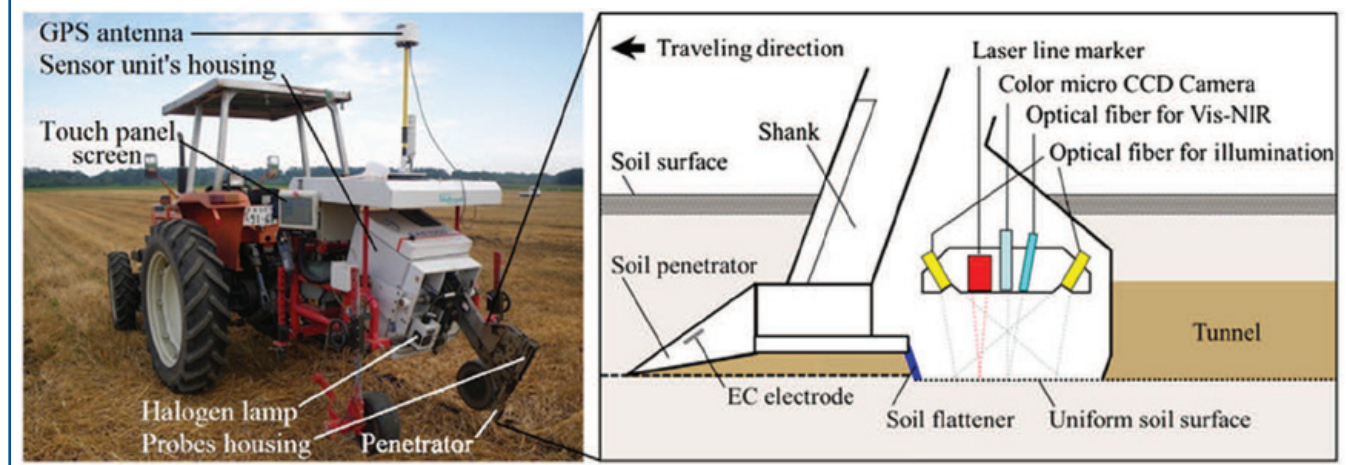


Figura 1. Representación del sensor óptico Vis-NIR de la casa comercial Shibuya. (Fuente: [9])

http://www.shibuya-sss.co.jp/sss_e/product/ai.html


La importancia del suelo en la producción agrícola

2015: AÑO INTERNACIONAL DEL SUELO

*Nuria Santana Vega, Adolfo Moya González,
Pilar Barreiro Elorza*

2015 ha sido declarado el Año Internacional de los Suelos por diversas organizaciones entre las que se encuentra la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). El objetivo de esta declaración es promover una mayor concienciación respecto al suelo como recurso limitado e imprescindible en la producción agrícola. Se estima que el 95% de nuestros alimentos se produce directa o indirectamente en nuestros suelos y que una gestión sostenible del suelo permitiría producir hasta un 58% más de alimentos [1] suficiente para dar respuesta al incremento del 60% en la demanda de alimentos, piensos y fibras previsto por la FAO para el año 2050, en que se prevé alcanzar una población mundial de 9000 millones. El manejo sostenible de los suelos agrícolas del mundo y la producción sostenible son imprescindibles para invertir la tendencia de degradación de los suelos y garantizar la seguridad alimentaria actual y futura del mundo [2]. Los suelos y la vegetación mantienen relaciones recíprocas, el

contenido en nutrientes de una planta se relaciona directamente con el contenido en nutrientes del suelo y su capacidad de intercambiar nutrientes y agua con las raíces de la planta, el crecimiento de la planta se ve afectado por las propiedades físicas del suelo, como la textura, la estructura y la permeabilidad [3].

La degradación de los suelos agrícolas se relaciona directamente con la utilización excesiva de fertilizantes y plaguicidas, la eliminación de los residuos de las cosechas de la superficie del suelo y el empleo de maquinaria pesada [3]. Las acciones aplicables para la conservación de los suelos agrícolas contemplan la rotación de cultivos como eje central, y diversos enfoques intentan reducir o eliminar la aplicación de fertilizantes y/o plaguicidas, así como la perturbación mecánica de los suelos (agricultura orgánica, agricultura de conservación, no laboreo,...). Independientemente del enfoque elegido, el conocimiento detallado de las propiedades del suelo supone un punto de partida adecuado para mejorar su gestión. En este sentido, la disposición de información exhaustiva de las propiedades del suelo, incorporada a sistemas de información geográfica (GIS) habilita la implementación de sistemas de Agricultura de Precisión ►►►



La más amplia gama en siembra y laboreo



y ahora pulverización.



www.sembradorasgil.com

EL ORGULLO DE TENER UNA MARCA LÍDER.

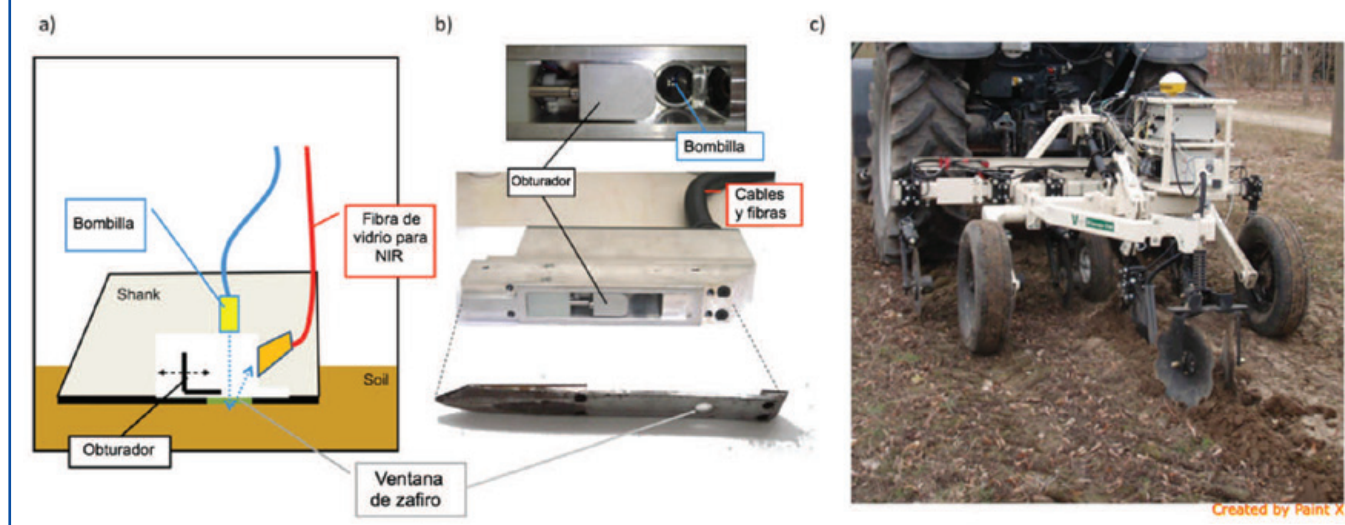
Julio Gil Águeda e Hijos, S.A.
Ctra. M-118, km 4,100
28814 Daganzo de Arriba (MADRID)
Tel.: (+34) 91 884 54 29/ 91 884 54 49
Fax: (+34) 91 884 14 87
e-mail: ventas@sembradorasgil.com

Calidad rentable



Desde 1954

Figura 2. Sensor óptico Vis-NIR de la marca Veris. (Fuente: adaptado de [12])
<http://www.veristech.com/the-sensors>



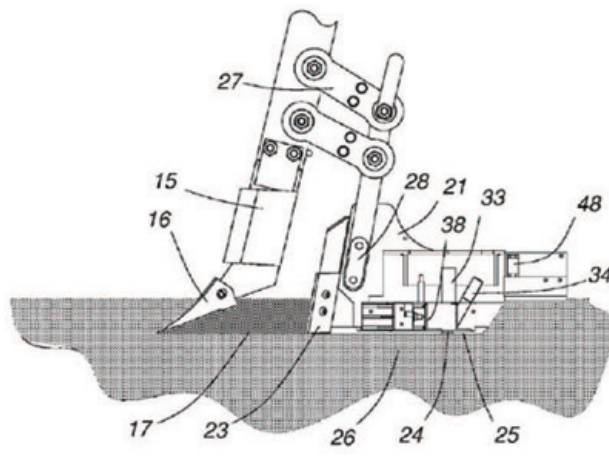
(AP) que adapten las labores a realizar a las necesidades del suelo en las distintas zonas de una parcela. En la medida de lo posible el laboreo de conservación y la siembra directa son técnicas altamente recomendables en este aspecto.

La siembra directa es una técnica especialmente sensible a la correcta regulación y a las variaciones espaciales en compactación, humedad y residuo vegetal sobre el terreno [4]. En la publicación llevada a cabo por Valero Ubierna y colaboradores [4] se destaca la relevancia de la variación en las propiedades del suelo en cuanto a la calidad de siembra en sistemas de siembra directa. Los autores destacan la oportunidad de empleo de técnicas de AP, proponiendo sistemas de control pasivo y activo de la profundidad de siembra, para mejorar la calidad de siembra y de la nascencia.

Los sensores de suelo expuestos en el presente artículo permiten mapear variables como el contenido en materia orgánica, arcilla, nutrientes, etc. para gestionar de una forma más eficiente las operaciones de cultivo (laboreo, abonado, siembra, protección de cultivos...), desde un punto de vista tanto económico como agroambiental. Esta información georreferenciada resulta de utilidad independientemente del sistema de cultivo empleado, si bien, como se pone de manifiesto en el artículo antes mencionado, es especialmente relevante en sistemas basados en siembra directa.

La AP es un sistema de gestión de la producción basado en un conjunto de tecnologías capaces de considerar la variabilidad espacial en campo [5], se trata de “efectuar la intervención agrícola correcta, en el momento adecuado y en el lugar preciso” [6]. A pesar de presentarse la AP como una de las mejores

Figura 3. Vista en alzado del sistema de mapeo de suelos, a medida que este pasa a través del suelo durante la operación. (Fuente:[20]).



herramientas a utilizar en los sistemas de producción actuales, existen barreras técnicas que impiden la plena implementación: la intensificación de la información; el déficit en criterios de selección en los procedimientos a aplicar y en las estrategias a seguir, y la labor costosa en tiempo e inversión que supone la obtención de datos relativos al suelo, cultivo y condiciones ambientales.

El concepto fundamental y pilar básico en el que se basa la AP es la existencia de variabilidad intra-parcelaria, cuya georreferenciación se basa en el empleo de DGPS (*Differential Global Positioning System*), visualizándose en los SIG (Sistemas de Información Geográfica) para generar mapas. La información representada puede obtenerse mediante detección remota (empleando imágenes tomadas por cámaras de visión artificial o capturadas por espectrorradiómetros), o mediante registro a nivel del terreno (muestreo ►►►



«DP 36»

Abonadora Doble Disco

Técnica y precisión para profesionales de la fertilización



Mod. DP 36 - 3000

Sistema "LATERAL-QUICK"
Para conservar la estructura física del fertilizante en el terreno



Cuádruple cobertura
para garantizar una gran precisión del trabajo

Fertilización en borde de campo

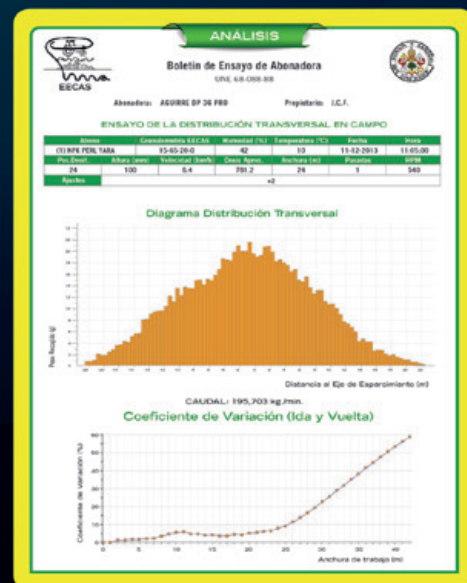
- Desde el borde de la parcela con deflector SXDP
- Trabajando por el interior de la parcela mediante curva asimétrica adaptada al ancho del pulverizador.



Aguirre Maquinaria Agrícola, S.L.
Pol. Ind. Municipal s/n.
31300 TAFALLA (España)

Tfno: 0034 948 700 692
Fax: 0034 948 702 855
aguirre@aguirreagricola.com

www.aguirreagricola.com



Curvas de distribución
y coeficiente de variación

combinado con análisis de laboratorio o empleo de sensores a bordo de equipos móviles).

PATENTES ACTUALES PARA LA MEDIDA EN DINÁMICO DE LA CALIDAD DEL SUELO

En las últimas décadas varias marcas han desarrollado diferentes sensores eléctricos y electromagnéticos, electro-químicos, mecánicos, ópticos, acústicos y neumáticos, teniendo la mayoría de ellos como característica común su sensibilidad a más de un factor agronómico del suelo (Barreiro, 2007).

Las principales casas comerciales de sensores eléctricos y electromagnéticos son Veris (3100), Geocarta (ARP), Geonics (EM31 y EM38) y Geophex (GEM-2), estos sensores determinan la conductividad eléctrica aparente (ECa), que es un promedio de la circulación eléctrica por las tres fases distintas del suelo: la fase líquida con nutrientes disueltos, la fase sólido-líquida debida al intercambio de cationes de arcillas y minerales, y la fase sólida derivada del contacto físico entre partículas sólidas del suelo. Dentro de estos sensores podemos encontrar dos tipos: los que realizan las mediciones en contacto directo con el suelo, y los que no tienen contacto con él [7]. En cuanto a sensores electroquímicos se dispone de ejemplos que evalúan pH, generalmente usados en laboratorio, aunque Veris comercializa un dispositivo que realiza la medida directa en el suelo.

Históricamente en la caracterización del suelo agrícola mediante sensores ópticos se ha empleado el espectro visible (Vis, 400-700 nm), y más recientemente el infrarrojo cercano (NIR, 700-2400 nm), banda donde los grupos funcionales C-H, N-H y O-H absorben energía, siendo por tanto muy útil para cuantificar distintas formas de carbono, nitrógeno y agua, respectivamente. La determinación espectral del suelo en condiciones dinámicas requiere el empleo de una ventana transparente de zafiro (resistente al deterioro), instalada en la base de una reja. Estos sistemas requieren un proceso de calibración frecuente [8]. Existen dos marcas con productos comerciales en desarrollo basados en este tipo de sensores como son: Shibuya [9], Veris [8][10][11][12][13][14][15]; por otro lado, existen marcas como Labsphere [16], Fieldspec-Pro [17], FOSS XDS [18] ó Lab Spec 5000 [19], para medida en estático, es decir, estos sensores se emplean para verificación de resultados.

Figura 4. Vista en perspectiva del módulo de reflectancia (21) al que se une una referencia de reflectancia externa (46) fijada en la superficie inferior del mismo. (Fuente:[20]).

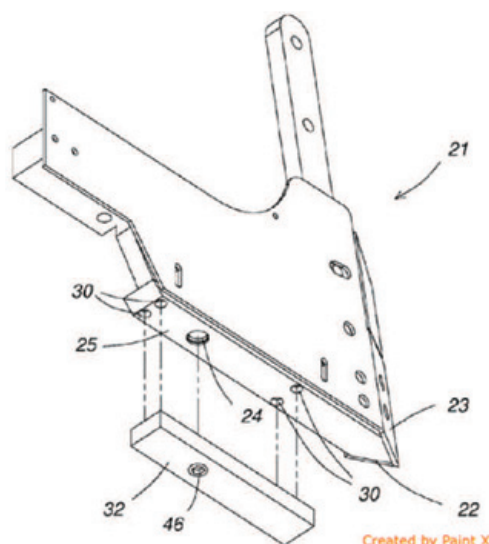
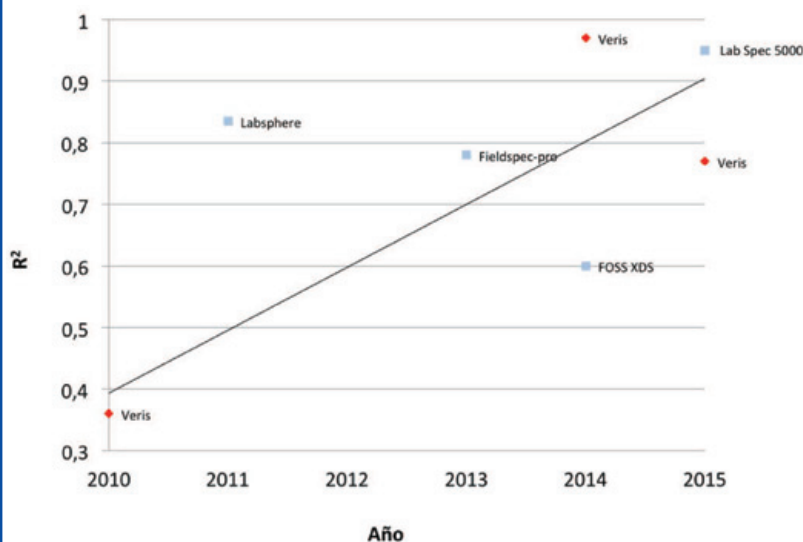


Figura 5. Coeficiente de determinación del Carbono Orgánico del Suelo (SOC). (Fuente: elaboración propia a partir de [11][14][15][17][18][19])



En la figura 1 se muestra tanto una imagen real de cómo el sensor Shibuya va incorporado al tractor para el estudio en dinámico en campo, como un esquema en el que se indican las distintas partes de dicho sensor, dentro de la reja en la que va incorporado el sensor se disponen de dos cables de fibra óptica (coloreados de amarillo en la figura) para iluminación, un cable de fibra óptica (en azul) para la lectura de Vis-NIR, una cámara de color CCD (en gris) y un marcador de línea láser (en rojo); en la reja va incorporado un electrodo de conductividad eléctrica (EC) y un aplanador del suelo para conseguir una superficie uniforme de suelo para la mejor toma de medidas; la dirección del ►►►

BORN ITALIAN IN THE STYLE U.S.A.



X7 Puedes elegir un tractor excepcional o tener aún más.

En su ADN toda la fuerza y la solidez del origen norteamericano, pero también la tecnología más avanzada y productiva desarrollada en europea, con la elegancia de un diseño italiano fuera de serie. Si quieres de verdad eficiencia, confort operativo y estilo al máximo nivel, no aceptes ningún compromiso...elige McCormick.

Contacta con tu concesionario de zona para más información.



McCormick es una marca de Argo Tractors S.p.A.



info@argoiberica.com
www.argoiberica.com

tractor con el sensor es hacia la izquierda del esquema.

La casa comercial Veris (Kansas, USA), de origen universitario, ya dispone en el mercado sensores eléctricos, electro-químicos y ópticos para caracterización de conductividad eléctrica (EC), pH y materia orgánica (MO) respectivamente; estos dispositivos se pueden adquirir tanto individualmente como en plataformas multi-sensor. Las más habituales son: EC-MO, EC-pH y MPS-3 para las medidas de EC, MO y pH. En la figura 2 se muestran un esquema y una imagen de la reja donde va incorporado la parte del sensor con la cual se realiza la lectura espectral del suelo, y una imagen del sensor montado en el bastidor, el cual va enganchado a los tres puntos del tractor, para el trabajo directo en campo.

Las figuras 3 y 4 muestran esquemas pertenecientes a la patente [20] del sensor Veris Spectrophotometer, en las cuales se muestran distintas partes del sensor. Estas figuras representan cómo, mediante la reja de apertura (16), se va abriendo un surco en cuyo fondo (17) se realizan las lecturas manteniendo siempre el contacto firme con el suelo (26); unido al vástago mediante un elevador en paralelo (27) va el módulo en el que va incorporado el sensor (21), el cual se compone de placas protectoras (22, 23 y 25), de obturador (38), una ventana de zafiro (24), una bombilla halógena de tungsteno o wolframio (33), lentes ópticas receptoras (34), cuatro pequeñas hendiduras (30), conjunto de bloques de referencia externos (32) y sensor de temperatura del suelo infrarrojo sin contacto (48).

RESULTADOS VERIFICABLES (PRE-COMERCIALES)

En relación a la medida no destructiva del carbono orgánico en el suelo, se han encontrado estudios realizados entre los años 2010 y 2015 con diferentes marcas comerciales de sensores ópticos. Estos ensayos se han clasificado en dos tipos, los realizados con el equipo de la casa Veris y los realizados con otros equipos. Como se puede observar en la figura 5, la estimación del SOC (carbono orgánico del suelo) por medios no destructivos ha mejorado mucho (ha multiplicado por dos su capacidad predictiva actualmente R^2 entorno a 0,90), lo que muestra la necesidad de alcanzar una madurez antes de proceder a la comercialización de un equipo. La bondad de las estimaciones se refleja en el

Figura 6. Coeficientes de determinación del Nitrógeno total. (Fuente: elaboración propia a partir de [9][12][18]).

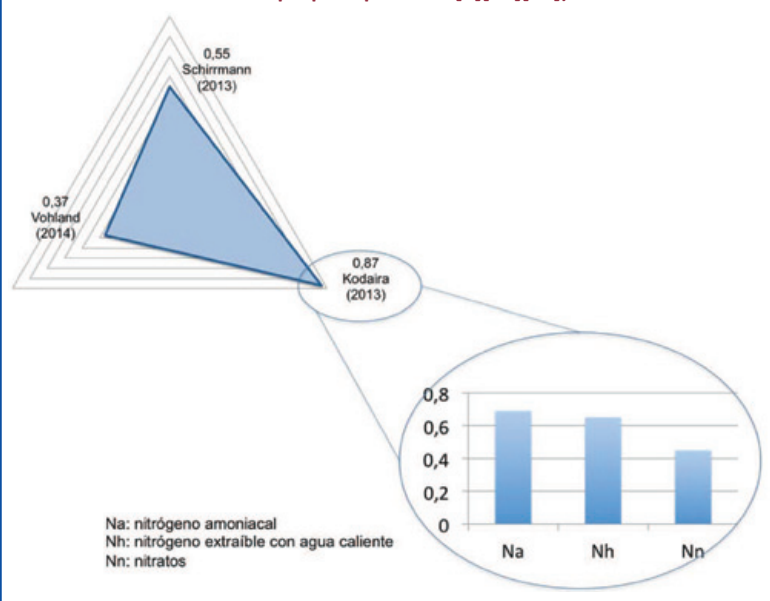
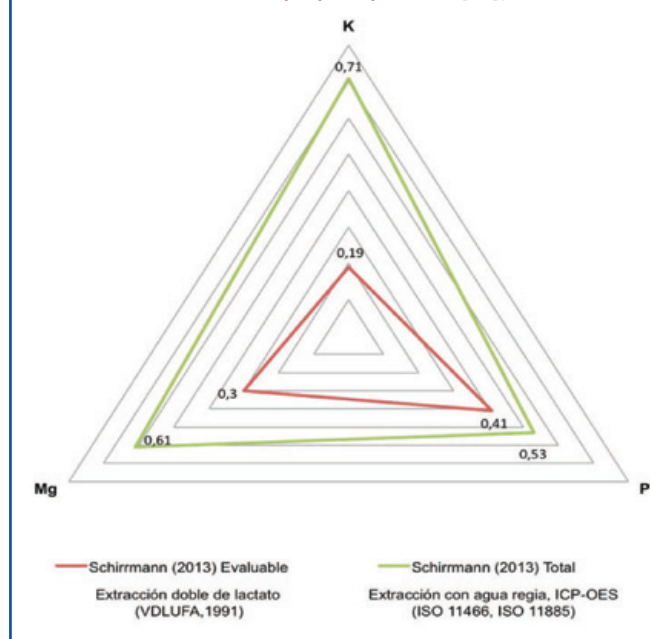


Figura 7. Coeficiente de determinación de iones. (Fuente: elaboración propia a partir de [12]).



coeficiente de determinación (R^2) el cual muestra la varianza explicada en la estimación de un parámetro, viene expresado en tanto por uno de forma que un valor igual a uno indica la misma calidad de información en el método de referencia y en el no destructivo.

Para comparar la bondad de tres estimaciones de nitrógeno realizadas por distintos autores empleando diferentes sensores no destructivos, se ha llevado a cabo una representación de los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos en cada caso en un diagrama triangular; cuanto más equilátero es el triángulo ►►►

Más de 1.000 agricultores
en España ya confían
en nuestras sembradoras
de siembra directa

Vesta Ceres

A6000-SM SM-1909



*La siembra
bien hecha*
1956



más equivalentes son las estimaciones. En este caso, el mejor resultado obtenido ($R^2=0,87$) corresponde a Kodaira et al. en 2013 empleando el sensor Shibuya. En este ensayo, además se estiman distintas fracciones de nitrógeno presente en el suelo (amoniacal, nitratos y extraíble con agua caliente), como se muestra en la figura 6. El Nitrógeno más fácilmente predecible es el amoniacal y el menor el correspondiente a los nitratos. Los lectores se preguntarán cuál es la causa de que 3 autores en años muy parecidos puedan obtener resultados tan diversos. La principal respuesta es que depende de la variación de las muestras empleadas en el ajuste del modelo, de ahí la importancia de apoyarse en expertos en el ámbito tanto de los sensores como del suelo.

Por otra parte, la determinación de iones K^+ , Mg^{2+} y P^{3-} de forma no destructiva puede llevarse a cabo empleando como referencias distintas metodologías: mediante iones totales (extracción con agua regia, ICP-OES especificada en ISO 11466 e ISO 11885) o mediante iones evaluables (extracción doble de lactatodefinida por VDLUFA, 1991). La figura 7 muestra los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos según ambas metodologías para cada uno de los iones en un diagrama triangular. Claramente la determinación no destructiva de iones llevada a cabo a partir una referencia de iones totales es mejor, siendo el Potasio un ión más fácilmente estimable ($R^2=0,71$) que el Fósforo o el Magnesio ($R^2=0,53$ y $R^2=0,61$ respectivamente).

APLICACIÓN PRÁCTICA

Uno de los aspectos clave en la determinación de la variabilidad parcelaria de los parámetros de los suelos de cultivo es la resolución de la toma de muestras (número de muestras por ha). En un ensayo de campo llevado a cabo en Brasil con el sensor espectrofotométrico Veris (Visible e Infrarrojo), se estudiaron parámetros relevantes del suelo (contenido en arcilla, materia orgánica, fósforo, calcio, magnesio, potasio, capacidad de intercambio catiónica). Los resultados se contrastaron con muestreos en campo y determinaciones convencionales en laboratorio. Uno de los aspectos corroborados en este estudio es la necesidad de realizar, como mínimo, una muestra por hectárea. Esta superficie mínima de muestreo, mencionada en otros estudios publicados, podría verse afectada por la variabilidad del suelo y requerir muestreos más densos.

El procedimiento llevado a cabo en la aplicación descrita consistió en la toma de muestras intensiva (1 muestra cada 126 m²) que fueron analizadas por el sensor Veris y mediante procedimientos convencionales de laboratorio. Los datos espectrales obtenidos se

Figura 8. Mapa de distribución del PC4.
(Fuente: Elaboración propia).

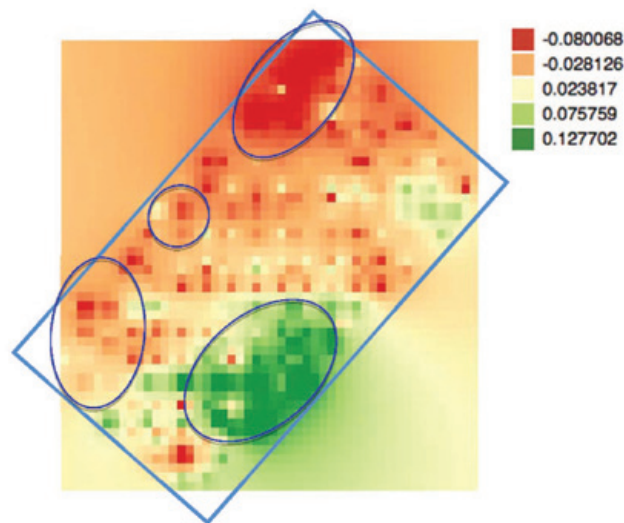
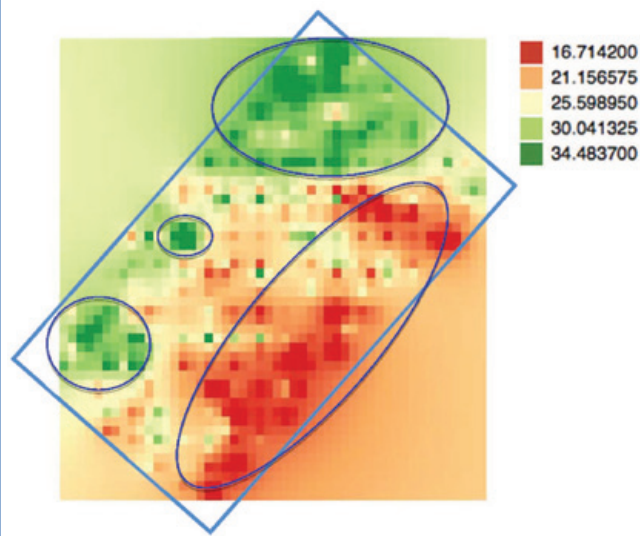


Figura 9. Mapa de distribución del fósforo.
(Fuente: Elaboración propia).



comprimieron mediante un análisis de componentes principales que permite generar nuevas variables (componentes principales o PCs) con un elevado contenido en información. Estas nuevas variables pueden ser relacionadas con los parámetros de interés del suelo. La figura 8 muestra la distribución espacial del contenido en fósforo en la parcela estudiada; este contenido en fósforo está relacionado de forma inversamente proporcional con el cuarto componente principal (PC₄) extraído en el análisis, lo que posibilita la estimación del primero a partir del segundo.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

El empleo de sensores espectrofotométricos montados sobre maquinaria agrícola permite la generación de mapas de propiedades de suelos de elevada densidad

de información. Esto deriva en la posibilidad de incorporar a los GIS información de alta resolución que permita explotar todo el potencial de la AP.

Como en el caso de otros sensores capaces de determinar/estimar información de utilidad georreferenciada, solo podrán expresar todo su potencial cuando esta información sea transferida a la maquinaria empleada para la aplicación de insumos dotada de tecnología para la aplicación de dosis variable, idealmente con una resolución similar a la determinada

BIBLIOGRAFIA

- [1] Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables. FAO. 2015.
- [2] El suelo es un recurso no renovable. FAO. 2015.
- [3] Los suelos constituyen la base de la vegetación. FAO. 2015.
- [4] Valero Ubierna C., Garrido Izard M., Barreiro Elorza P., Alcino Conceição L. Ahorro y eficiencia energética derivados de nuevas tecnologías de siembra. Vida Rural. 2010.
- [5] Molin J.P. Agricultura de Precisão Boletim Técnico. 5-27. 2011.
- [6] Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura de Precisión 16.2010.
- [7] Valero C., Navas L.M., González F., Gómez J., Ruiz G., Barreiro P., Andújar D., Diezma B., Báguena E., Garrido M. Precision Farming Tools: Soil Electrical Conductivity. Grisso R., Alley M., Holshouser D., Thomason W. Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech 442-508. 2009.
- [8] Barreiro P. Sensores para la caracterización del suelo agrícola usados en agricultura de precisión. Vida Rural 260: 38-42. 2007.
- [9] Kodaira K., Shibusawa S. Using a mobile real-time soil visible-near infrared sensor for high resolution soil property mapping. Geoderma, 199: 64-79. 2012.
- [10] Christy C.D. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. Computer and Electronics in Agriculture, 61: 10-19. 2008.
- [11] Brickley R.S., Brown D.J. On-the-go VisNIR: Potential and limitations for mapping soil clay and organic carbon. Computer and Electronics in Agriculture, 70: 209-216. 2010.
- [12] Schirrmann M., Gebbers R., Kramer E. Performance of Automated Near-Infrared Reflectance Spectrometry for Continuous in Situ Mapping of Soil Fertility at Field Scale. 2013.
- [13] Kweon G., Maxton C. Soil organic matter sensing with an on-the-go optical sensor. Biosystems Engineering, 115: 66-81. 2013.
- [14] Eitelwein M.T., Besson D.G.A., Muniz R.A., Trevisan R.G., Vettorazzi C.A. Molin J.P. Avaliação da relação entre os teores de carbono orgânico e a refletância espectral (Vis-NIR) do solo. Congresso Brasileiro de agricultura de Precisão-ConBAP. Ribeirão Preto-SP, Brasil. 2014.
- [15] Knadel M., Thomsen A., Schelde K., Humlekrog Greve M. Soil organic carbon and particle sizes mapping using vis-NIR, EC and temperatura mobile sensor platform. Computer and Electronics in Agriculture, 114: 134-144. 2015.
- [16] Minasny B., McBratney A.B., Bellon-Maurel V., Roger J.M., Gobrecht A., Ferrand L., Jolland S. Removing the effect of soil moisture from NIR diffuse reflectance spectra for the prediction of soil organic carbon. Geoderma, 167-168: 118-124. 2011.
- [17] Nocita M., Stevens A., Noon C., van Wesemael B. Prediction of soil organic carbon for different levels of soil moisture using Vis-NIR spectroscopy. Geoderma, 199: 37-42. 2013.
- [18] Vohland M., Ludwig M., Thiele-Bruhn S., Ludwig B. Determination of soil properties with visible to near- and mid-infrared spectroscopy: Effects of spectral variable selection. Geoderma, 223-225, 88-96. 2014.
- [19] Knox N.M., Grunwald S., McDowell M.L., Bruland G.L., Myers D.B., Harris W.G. Modelling soil carbon fractions with visible near-infrared (VNIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopy. Geoderma, 239-240: 229-239. 2015.
- [20] Christy C., Drummond P. Mobile soil mapping system for collecting soil reflectance measurements. US 8,204,689 B2. 2012



Conozca la perfección

Distribución mediante acanaladuras helicoidales HELICA.



Sistema Exclusivo HELICA

Disponible para todas las sembradoras en línea mecánicas KUHN, la distribución HELICA con acanaladuras helicoidales responde a las exigencias de una semilla de calidad, independientemente del cultivo.

- Dosificación exacta en todas las condiciones: de 1,5 a 450 kg/ha, dosis precisa y regular independientemente del relieve, del nivel de carga de la tolva o de la velocidad de trabajo.
- Regularidad de la semilla: Distribución de la semilla homogénea, la dosis se ajusta mediante un tornillo micrométrico de apertura de las acanaladuras.
- Polivalencia de las semillas: colza, alfalfa, trigo, cebada, guisantes, habas...

www.kuhn.es



ganadería | cultivos | paisajes

be strong, be **KUHN**